

腔损耗调制 Nd: YAG激光器的混沌控制研究*

Controlling Chaos of a Loss-Modulated Nd: YAG Laser

黄良玉¹, 任君玉²

HUANG Liang-yu¹, REN Jun-yu²

(1. 广西大学物理科学与工程技术学院, 广西南宁 530004; 2. 广西大学行健文理学院, 广西南宁 530004)

(1. College of Physical Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. College of Xingjian, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要: 在腔损耗调制 Nd: YAG激光器的前置偏置电压中加入正弦控制信号, 通过调节控制信号的强度系数, 将系统控制在不同的周期轨道上, 能够提高输出功率的同时还得到了品质良好的激光输出。该控制方法算法简单, 容易在工程上实现, 对获得品质良好的高功率激光输出有较好的参考价值。

关键词: 激光器 混沌控制 正弦控制信号 激光输出

中图分类号: TN248.0432 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2009)01-0067-03

Abstract The chaotic dynamic of a loss-modulated Nd: YAG laser was researched at first. And then, a sinusoidal signal was injected into the bias voltage of the laser, which can control the laser to achieve the different periodic orbits by adjusting the amplitude of the sinusoidal signal. Not only the output power of the laser was enhanced but also the good laser was obtained by using this control scheme. Finally, simulation results show the validity of this control method. The control scheme is easy to realize in engineering. Our research results have many helpful values to improve the laser output power.

Key words laser, chaos control, sinusoidal signal, laser output

由于激光混沌对激光在国防、通信、医学等各个领域中的应用都有巨大的影响, 因此近 20 年来, 对激光混沌的控制及同步通信的研究在国内外受到了极大的关注^[1-7]。在实际工程中, 我们常常会采用提高激光器的偏置电压或电流的方式来获得高功率的激光输出。然而, 随着偏置电压绝对值的提高, 系统会出现混沌状态。系统的混沌运行对激光输出十分有害, 因为混沌会导致激光光束严重发散, 大大降低了激光的光场质量。为了获得功率高且品质好的激光输出, 就必须有效地控制激光中的电子混沌和光场混沌。基于此目的, 本文在腔损耗调制 Nd: YAG

激光器 (Loss-modulated Nd: YAG laser, 简称为 LMNY Laser)^[4-7] 的系统前置偏压中加入正弦控制信号对其混沌状态进行控制, 以得到功率高且品质良好的激光输出。

1 LMNY Laser 的混沌动力学模型

LMNY Laser 的混沌动力学可以用激光强度 I 、反转粒子数 Δ 和内部声光调制器的调制电压 V 三个变量构成的速率方程表示其动力学模型, 本文采用 Meucci 等人^[4] 提出的标准化速率方程:

$$\begin{cases} \dot{x} = -k_0 x [1 + a \sin^2(z) - y], \\ \dot{y} = -V(y - P + xy), \\ \dot{z} = -U\{z - [B - kc] - fx\}, \end{cases} \quad (1)$$

其中 x, y, z 分别表示激光强度 I 、反转粒子数 Δ 和内部声光调制器的调制电压 V 的标准化变量, kc 为

收稿日期: 2008-07-09

作者简介: 黄良玉 (1978-), 女, 讲师, 硕士, 主要从事非线性系统控制理论及应用和复杂性科学研究。

* 广西大学科研基金项目 (X071082) 资助。

以下将要加入的控制变量,未加入控制时 $k_c = 0$ 数值模拟过程中用到的部分参数值为 $k_0 = 6.6 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$, $V = 4.166 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$, $U = 6.28 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$, $a = 0.052$, $P = 1.85$, $f \in [0, 1]$, 取 $f = 0.9$

系统会随着 B 的改变表现出不同的动力学行为。由图 1 可以看到,当 B 在 $[-0.77, 0.9]$ 区间时系统可以得到稳定的输出光场,然而,此区域内的输出光场幅值始终小于 0.9,也就是说系统的输出虽稳定但功率较低。当 $B < -0.77$ 和 $B > 0.9$ 后,系统出现混沌行为,系统输出光场幅值分布在 $[0, 200]$ 区间上。从图 1 知,当 $B = -0.825$ 时计算得到系统的最大 Lyapunov 指数为 0.067228×10^6 (与文献 [4] 中的最大 Lyapunov 指数的数量级相符),由分叉图及正的最大指数可知此时系统处于混沌状态,其混沌吸引子如图 2 所示

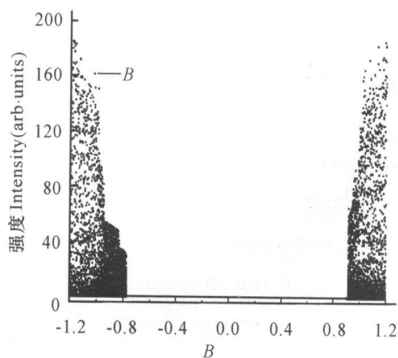


图 1 x 随着 B 改变的 Poincare 截面分岔

Fig. 1 Bifurcation diagram of x with the variation of B

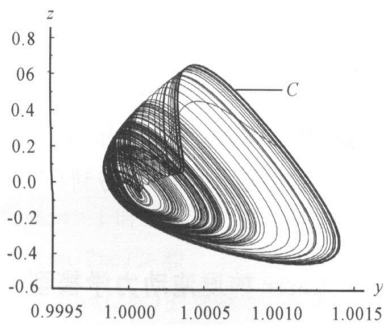


图 2 系统的混沌吸引子

Fig. 2 The chaotic attractor of the system

2 控制原理及数值模拟结果

对于激光系统而言,输出信号中包含的周期数越少表示信号的单色性越好,因此,为了在提高输出功率的同时使输出光场包含尽可能少的周期,在系统调制器的前置偏置电压中加入正弦控制信号,即使 $k_c = k \cos(kt)$,其中 k 为控制强度, k 为控制信号频率。系统会随控制强度与控制频率的改变而出现

不同的状态。我们取 $k_c = \pi$,通过改变控制信号来调整系统的前置偏置电压,从而控制系统工作于不同状态来主要研究系统随控制强度的变化所得到的控制结果

从图 3 可以看到随着 k 取值的变化系统受控的情况。 k 值在 $(0, 0.045)$ 期间系统仍处于混沌状态。 k 值在 $(0.046, 0.057)$ 期间时系统被控制在 3 周期中间在 $k = 0.05$ 时出现多周期的情况,在 $k = 0.058$ 时可将系统控制在 10 周期, k 值在 $(0.059, 0.066)$ 期间时可将系统控制在 1 周期,但幅值较小, k 值在 $(0.067, 0.099)$ 期间时可将系统控制在 2 周期轨道。值在 $(0.1, 0.12)$ 期间时,可以将系统控制在 1 周期轨道。

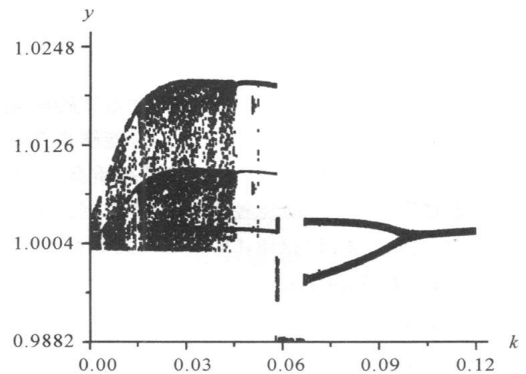


图 3 y 随着 k 改变的 Poincare 截面分岔

Fig. 3 Bifurcation diagram of y with the variation of k

对模型的数值模拟结果是,当 k 值大于 0.15 后, x 将平衡等于零,也就是输出光强为零,因此控制将失去意义,所以控制强度应该在 $(0, 0.15)$ 期间选取。当 $k = 0.045$ 时,将系统控制在 3 周期轨道(图 4);当 $k = 0.09$ 时,将系统控制在 2 周期轨道(图 5);当 $k = 0.11$ 时,将系统控制在 1 周期轨道(图 6)。图 4~6 的数值模拟结果说明,控制策略是有效的。

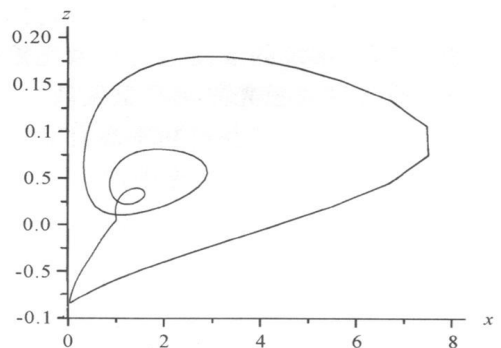


图 4 系统被控制在 3 周期轨道

Fig. 4 The system was controlled at 3-periodic orbit

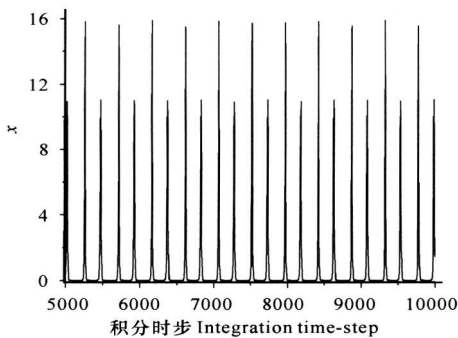


图 5 系统被控制在 2 周期轨道

Fig. 5 The system was controlled at 2-periodic orbit

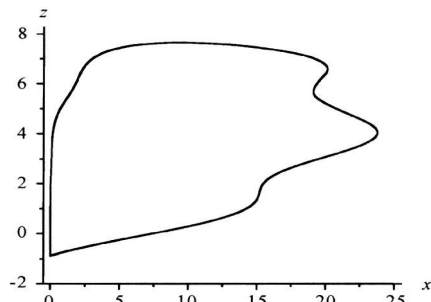


图 6 系统被控制在 1 周期轨道

Fig. 6 The system was controlled at 1-periodic orbit

3 结论

在 LMN Y Laser 的前置偏置电压中加入正弦控制信号,通过选择不同的控制强度系数,可以将系统控制在高周期或者低周期轨道上,在提高输出功

率的同时还能得到品质良好的激光输出。该控制方法简单易于工程上实现,对于获得品质良好的高功率激光输出有较好的参考价值。

参考文献:

- [1] Huang L Y, Luo X S. Synchronization of chaotic storage-ring free-electron laser by Bi-Directional coupling scheme with the coupling strength varied periodically [J]. Chin Phys Lett, 2006, 23(2): 297-300.
- [2] 方锦清,姚伟光.非线性环型腔激光器的动力学特性及其混沌控制[J].强激光与粒子束,2001,13(2): 155-163.
- [3] 黄良玉,罗晓曙,方锦清.用滑模变结构控制方法实现外腔反馈式半导体激光器的混沌控制[J].物理学报,2005,54(2): 543-549.
- [4] Meucci R, McAllidter Ryan, Roy Rajarshi. Chaotic function generator Complex dynamics and its control in a loss-modulated Nd: YAG laser [J]. Physical Review E, 2002, 66 026216
- [5] Volodchenko K V, Ivanov V N, Gong Sung-huan. Phase synchronization in coupled Nd: YAG lasers [J]. Optics Letters, 2001, 26(18): 1406-1408.
- [6] Schenckzu Schweinsberg A, Dressler U. Characterization and stabilization of the unstable fixed points of a frequency doubled Nd: YAG laser [J]. Physical Review E, 2001, 63 056210.
- [7] Ahlborn A, Parlitz U. Chaos control of an intracavity frequency-doubled Nd: YAG laser [J]. AIP Conf Proc, 2004, 742 241-246.

(责任编辑: 邓大玉)

(上接第 66页 Continue from page 66)

- [2] John S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices [J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(23): 22486-2489.
- [3] 刘丹东,陈光德,徐忠锋.基于量子阱效应的光开关[J].光子学报,2006,35(9): 1321-1323.
- [4] 胡水龙,徐旭明,于天宝.光子量子单滤波.多通道开关[J].光子学报,2004,33(8): 1004-1005.
- [5] 袁彬彬,蔡祥宝,马骏,等.二维光子晶体光波导透射特性研究[J].光学仪器,2007,29(4): 13-16.
- [6] Esaki L, Tus R. Superlattices and Negative differential conductivity semiconductors [J]. IBM J Res De, 1970, 14 61-65.
- [7] Mendez E E, VonKlitzing K. Physics and applications of quantum wells and superlattices [M]. New York natoasi, 1987.
- [8] Qiao F, Zhang C, Wang J et al. Photonic quantum well structures Multiple channeled filtering phenomena [J]. Appl Phys Lett, 2000, 77(23): 3698-3700.
- [9] Moussa R, Foteinopoulou S, Zhang Lei, et al. Negative refraction and superlensing in a 2D photonic crystal structure [J]. Phys Rev: B, 2005, 71(8): 1-5.
- [10] Yano S, Segawa Y, Bae J S, et al. Quantized state in a single quantum well structure of photonic crystals [J]. Phys Rev: B, 2001, 63(15): 1-4.
- [11] Chen Xiao-shuang, Lu Wei. Photonic resonant transmission in the quantum-well of photonic crystals [J]. Solid State Commu, 2003, 127(8): 541-544.
- [12] 葛祥友,李平,王效杰,等.不同晶格常数光子晶体构成的光子量子阱中的共振模 [J].应用光学,2006,27(5): 336-338.
- [13] 王辉,李永平.用特征矩阵法计算光子晶体的带隙结构 [J].物理学报,2001,50(11): 2172-2174.
- [14] 刘靖,黄重庆,孙军强,等.光子晶体多量子阱中的谱线分裂 [J].量子电子学报,2008,25(2): 203-207.

(责任编辑: 邓大玉)